



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Umwelt BAFU

HOCHWASSERSTATISTIK

STATIONSBERICHT

Limmat - Baden, Limmatpromenade

weitere Erläuterungen: [Leitfaden](#)
Kontakt: hydrologie@bafu.admin.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Datengrundlage	2
2	Resultate der parametrischen Verfahren	5
2.1	Block Maximum Ansatz (BLOCK)	6
2.1.1	Gesamte Auswertungsperiode: 1951-2015	6
2.1.1.a	Stationäre Modellvariante	6
2.1.1.b	Nicht stationäre Modellvariante	8
2.1.2	Vergleichsperiode: 1974-2015	9
2.1.2.a	Stationäre Modellvariante	9
2.2	Peaks Over Threshold Ansatz (POT)	11
2.2.1	Auswertungsperiode POT: 1974-2015	12
2.2.1.a	Stationäre Modellvariante	12
3	Vergleich der verschiedenen Resultate	15
3.1	Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden	15
3.2	Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze	15
4	Literatur	17
	Anhang	18
A	Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten	18
B	Glossar	19

1 Datengrundlage

Es stehen die folgenden Abflussdaten für die extremwertstatistischen Auswertungen zur Verfügung:

Vorhandene Daten	seit	bis
Digitale Monatsmaxima	01.01.1904	31.12.1921
	01.01.1951	31.12.2015
Digitale Tagesmaxima	01.01.1974	31.12.2015

Ein Limnigraph wurde am 01. Januar 1951 in Betrieb genommen.

Für die Auswertungen werden entweder die mit Limnigraph erfassten vollständigen Jahre der Monatsmaxima oder die digitalen Tagesmaxima verwendet (siehe Kapitel 2).

Der grösste Abfluss wurde wie folgt beobachtet:

Grösste Abflussspitze	Datum	Abfluss
Grösstes Monatsmaximum	15.06.1910	735 m ³ /s
Grösstes Tagesmaximum	22.05.1999	657 m ³ /s

Die Abflussdaten können folgendermassen charakterisiert werden:

Abflussverlauf	Beschreibung
Abflussregime	Nicht eindeutig: Etwas höhere Abflüsse im Sommer als im Winter
Ausprägung der Saisonalität	In Monats- und Tagesmaxima gut zu erkennen (Abbildung 3 und Abbildung 4)
Beeinflussung	Beeinflussung durch die Regulierung des Zürichsees (ab 1951), mehrere Kraftwerke oberhalb des Zürichsees (grösste Stauseen in den 1960er-Jahren entstanden), den Sihlsee (1937), sowie mehrere Laufkraftwerke zwischen Zürich und Baden.

Die meisten Jahresmaxima bewegen sich zwischen ungefähr 250 und 450 m³/s, wobei die Werte in diesem Bereich stark streuen. Der mit 735 m³/s grösste Wert aus dem Jahr 1910 stammt, wie alle Daten von 1904 - 1921, von der Vorgängerstation 7043 Limmat-Baden, Grosse Bäder. Aufgrund der grossen Datenlücke bis zur Inbetriebnahme der aktuellen Messstation an der Limmatpromenade im Jahr 1951, werden die älteren Daten nicht in die Auswertungen einbezogen.

Die Reihe der Jahresmaxima weist auf keine generelle Zu- oder Abnahme der maximalen Abflüsse hin. Die Bruchpunktanalyse ergibt einen Bruchpunkt ab 1994 (Konfidenzintervall 1964-2012), der aber nicht signifikant ist. Aus diesem Grund wird keine Unterteilung der Untersuchungsperiode anhand eines Bruchpunkts vorgenommen (Verwendung von 1994 als t_0).

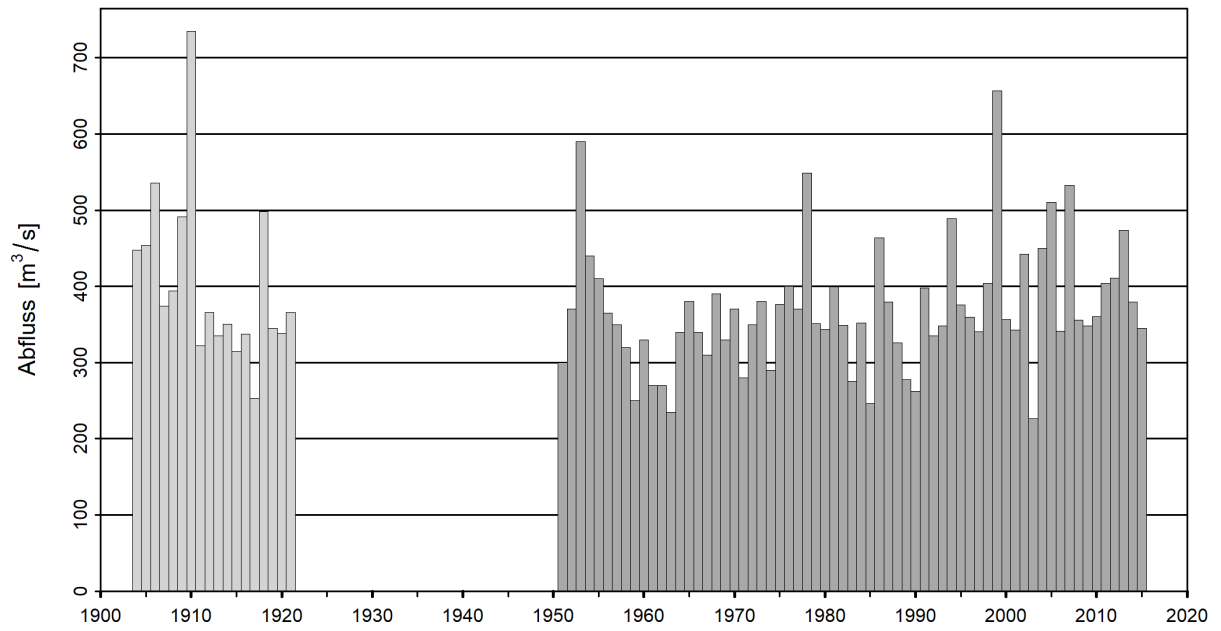


Abbildung 1: Zeitreihe der Jahresmaxima [m^3/s] 1904 - 2015, hellgrau: nicht für die Statistik verwendete Jahresmaxima, dunkelgrau: verwendete Jahresmaxima der gesamten Auswertungsperiode ab Limnigrapheninstallation.

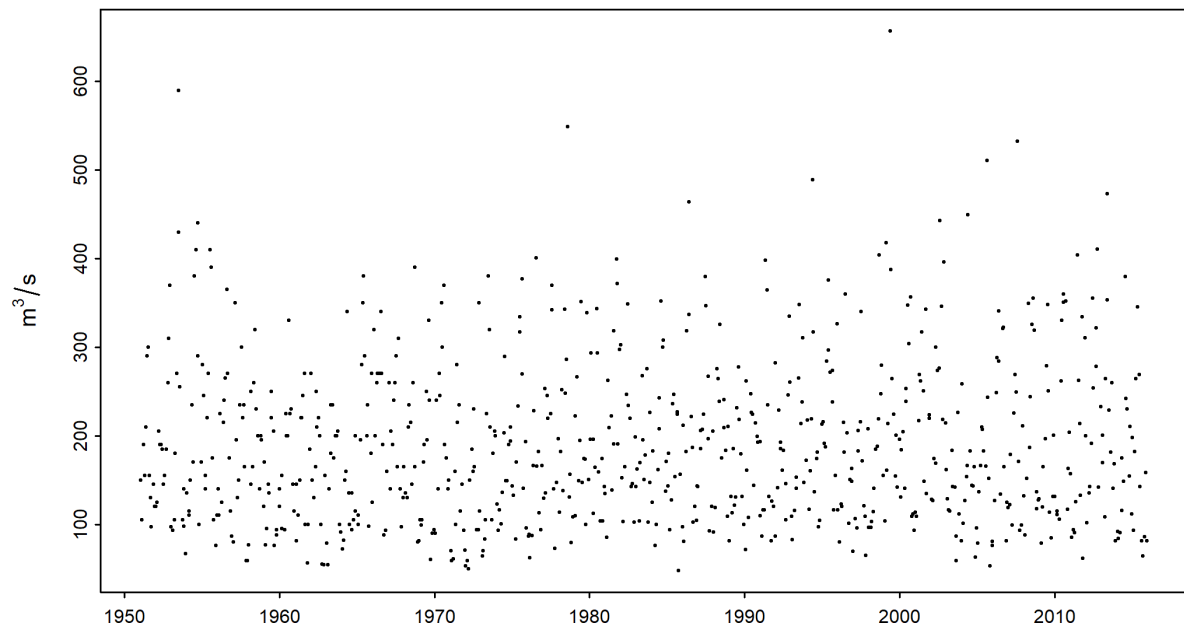


Abbildung 2: Zeitreihe der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1951 - 31.12.2015)

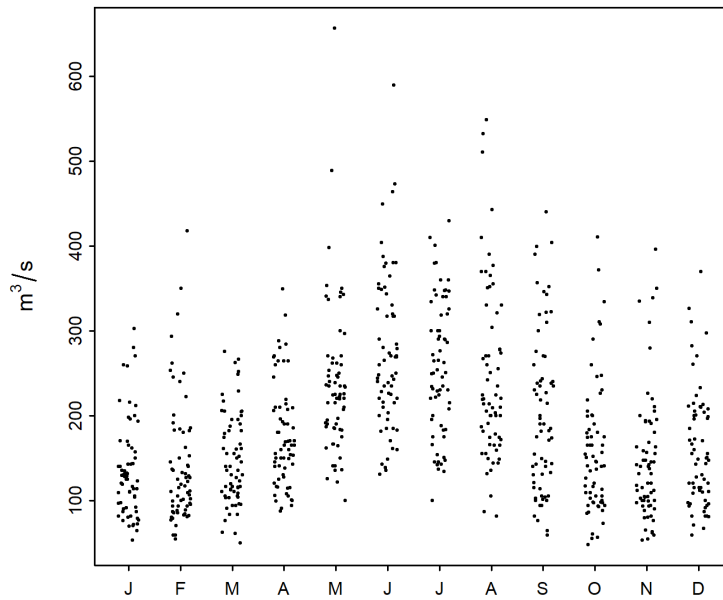


Abbildung 3: Saisonaler Verlauf der Monatsmaxima [m^3/s] (01.01.1951 - 31.12.2015)

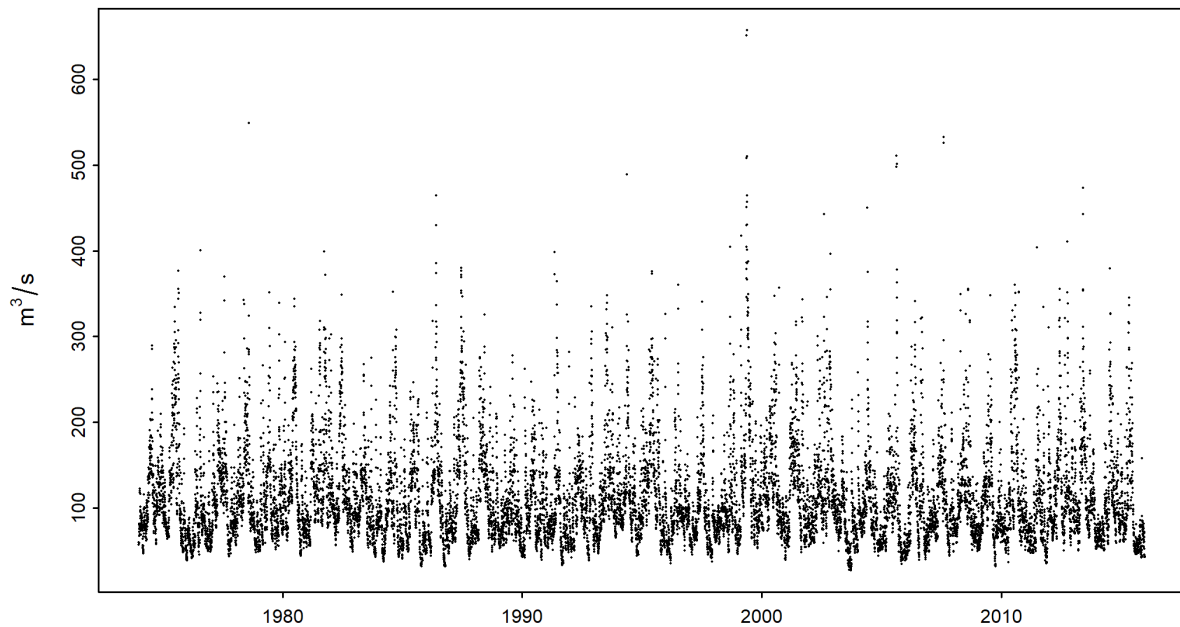


Abbildung 4: Zeitreihe der maximalen Tagesabflüsse [m^3/s] (01.01.1974 - 31.12.2015)

Fazit für die Modellvarianten

Veränderungen	Auswirkungen	Folgerungen
Div. Beeinflussungsänderungen	Nicht erkennbar	Vermutlich stationär

Bruchpunktanalyse

Jahr	Signifikanter Bruchpunkt	Folgerungen
1993 / 1994	nein	Keine Unterteilung der Auswertungsperiode, da nicht aus Unterlagen zu Station und Einzugsgebiet begründbar. Verwendung 1994 als t_0 (siehe Kapitel 2).

2 Resultate der parametrischen Verfahren

Mit Hilfe von zwei parametrischen Verfahren (BLOCK- und POT-Ansatz) werden Hochwasserwahrscheinlichkeiten HQ_T abgeschätzt. Die beiden Ansätze unterscheiden sich in der Methode wie Extremwerte identifiziert werden. Sie basieren auf folgenden Modelleingangsdaten und Parametern:

Parametrisches Verfahren	Parameter	Modelleingangsdaten
Block Maximum (BLOCK)	μ Lageparameter	Jahresmaxima
	σ Skalenparameter	
	κ Formparameter	
Peaks Over Threshold (POT)	λ Ereignisrate	Tagesmaxima
	σ Skalenparameter ¹	
	κ Formparameter	

Für beide parametrischen Ansätze wird jeweils der stationäre Fall berechnet. Das heisst es wird angenommen, dass alle Parameter der Verteilungsfunktion über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant sind. Wenn die Stationsgeschichte jedoch eine zeitliche Veränderung vermuten lässt, können die Parameter der entsprechenden Verteilungsfunktion zeitlich abhängig modelliert werden. Folgende, in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgeführten Modellvarianten werden verwendet:

Tabelle 1: Verwendete Modellvarianten des BLOCK-Ansatzes. μ Lageparameter (mu), σ Skalenparameter (sigma), κ Formparameter (kappa)

Modellvarianten BLOCK			
Name	Beschreibung	Parameter (t: Jahr)	Anzahl Parameter
stat	Stationäre Variante	μ, σ, κ	3
mul	Linearer Trend von μ	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma, \kappa$	4
muq	Quadratischer Trend von μ	$\mu = a_1 + a_2 * t + a_3 * t^2, \sigma, \kappa$	5
sigl	Linearer Trend von σ	$\mu, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	4
musigl	Linearer Trend von μ und σ	$\mu = a_1 + a_2 * t, \sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	5
mujump	Nicht-kontinuierliche Veränderung von μ zum Zeitpunkt t_0	$\mu = a_1 + a_2 * i, \sigma, \kappa,$ $i = 0$ für $t < t_0, i = 1$ für $t \geq t_0$	4

Tabelle 2: Verwendete Modellvarianten des POT-Ansatzes. σ Lageparameter (sigma), κ Formparameter (kappa)

Modellvarianten POT			
Name	Beschreibung	Parameter (t: Jahr)	Anzahl Parameter
stat	Stationäre Variante	σ, κ	2
sigl	Linearer Trend von σ	$\sigma = b_1 + b_2 * t, \kappa$	3
sigjump	Nicht-kontinuierliche Veränderung von σ zum Zeitpunkt t_0	$\sigma = b_1 + b_2 * i, \kappa,$ $i = 0$ für $t < t_0, i = 1$ für $t \geq t_0$	3

Die Güte der Modellvarianten wird jeweils grafisch mit Hilfe eines Probability und eines Quantile Plots beurteilt (siehe z.B. Abbildung 5 oben und [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3). Je besser die Daten auf der Einheitsdiagonale liegen, desto eher kann davon ausgegangen werden, dass die Modellannahmen korrekt sind. Anhand eines Ablaufschemas wird schliesslich entschieden, welches nicht stationäre Modell allenfalls weiterverwendet wird (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#) Kapitel 2.1.3). Im Folgenden sind jeweils die Verfahren mit den besten Resultaten aufgeführt.

¹Der Skalenparameter σ des POT-Ansatzes ist numerisch nicht identisch mit dem σ des BLOCK-Ansatzes.

2.1 Block Maximum Ansatz (BLOCK)

Der Block Maximum Ansatz (BLOCK) definiert den höchsten Wert innerhalb eines Zeitintervalls (Block, im vorliegenden Fall ein Jahr) als Extremwert.

Folgende Varianten des BLOCK-Ansatzes werden in diesem Bericht beschrieben:

Auswertungs- periode	Beschreibung	ausgewählte Modellvariante	Kapitel
1951 - 2015	gesamte Auswertungsperiode	stat mujump	Kapitel 2.1.1.a Kapitel 2.1.1.b

2.1.1 Gesamte Auswertungsperiode: 1951-2015

2.1.1.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	stat	1951-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}$	Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
65	333.57	66.08	-0.0422

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die gesamte Auswertungsperiode wird grafisch anhand der in Abbildung 5 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

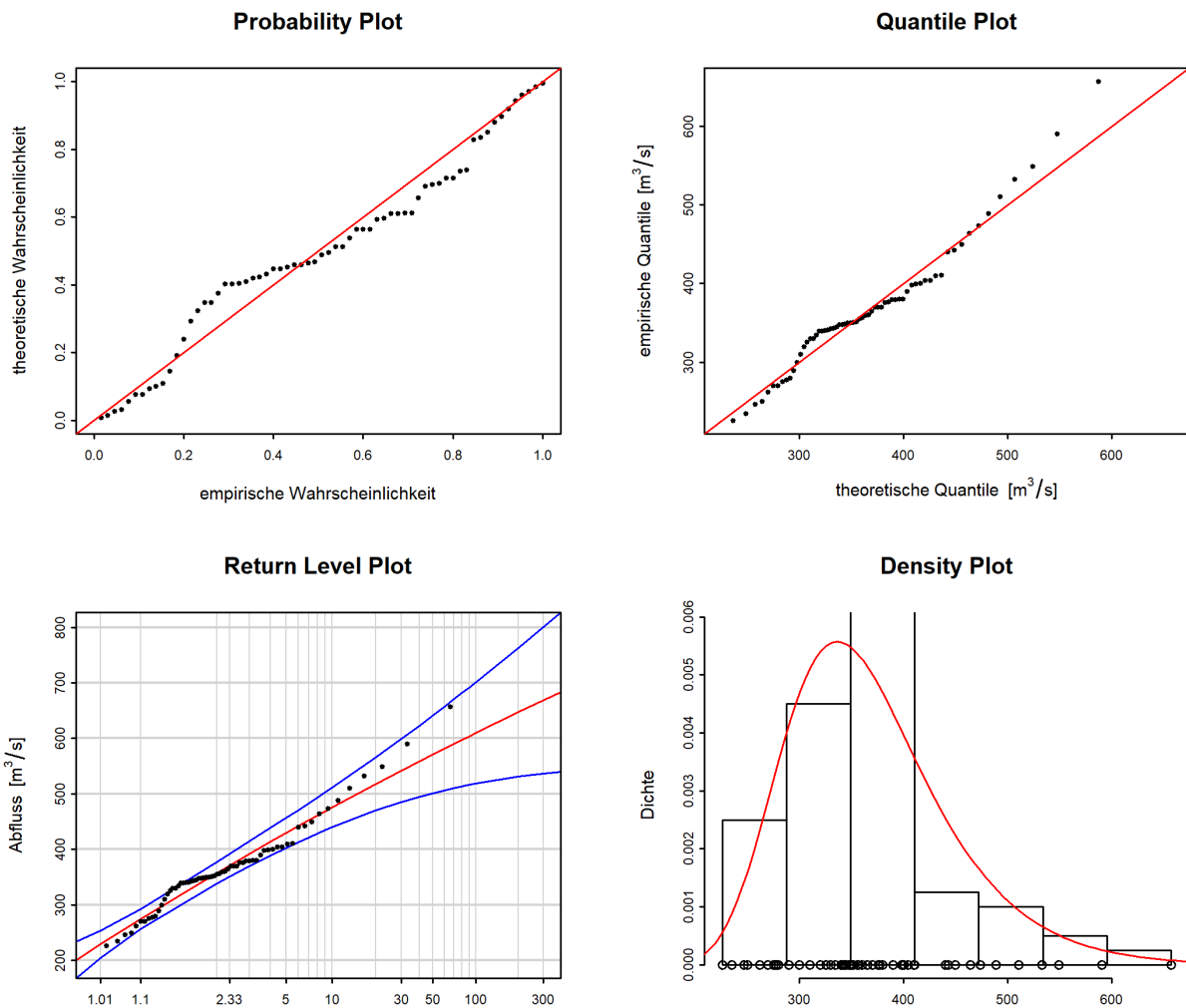


Abbildung 5: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1951-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 5):

Kriterien	Bewertung ²	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	mittel	Werte im unteren Bereich werden über-, im oberen Bereich unterschätzt
Anpassung mittlerer Bereich	mittel	Werte im unteren Bereich werden über-, im oberen Bereich unterschätzt
Anpassung oberer Bereich	mittel	Werte werden unterschätzt
Konfidenzintervall	mittel	-

²Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die gesamte Auswertungsperiode 1951-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ _T	untere Konfidenzgrenze [m ³ /s]	Abfluss [m ³ /s]	obere Konfidenzgrenze [m ³ /s]
HQ ₂	338	358	377
HQ ₁₀	440	475	511
HQ ₃₀	485	542	599
HQ ₁₀₀	518	610	701
HQ ₃₀₀	537	669	800

2.1.1.b Nicht stationäre Modellvariante

Der Vergleich der verschiedenen Modellvarianten des BLOCK-Ansatzes über die gesamte Auswertungsperiode zeigt, dass sich das Modell „mujump“ signifikant vom stationären Modell („stat“) unterscheidet.³Aufgrund des im Ablaufschema beschriebenen Vergleichsansatzes verschiedener nicht stationärer Modellvarianten kommt „mujump“ als bestes nicht stationäres Modell in Frage. Die Unterschiede zwischen den Modellen sind nur geringfügig. Daher werden im Folgenden die Resultate von „mujump“ dargestellt (siehe Abbildung 5 im [Leitfaden](#)).

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	mujump1994	1951-2015	Jahresmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}^4$		Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter $\hat{\kappa}$
	a_1	a_2		
65	322.16	41.64	64.83	-0.0707

Die Güte der Modellvariante „mujump1994“ über die gesamte Auswertungsperiode wird grafisch anhand der in Abbildung 6 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

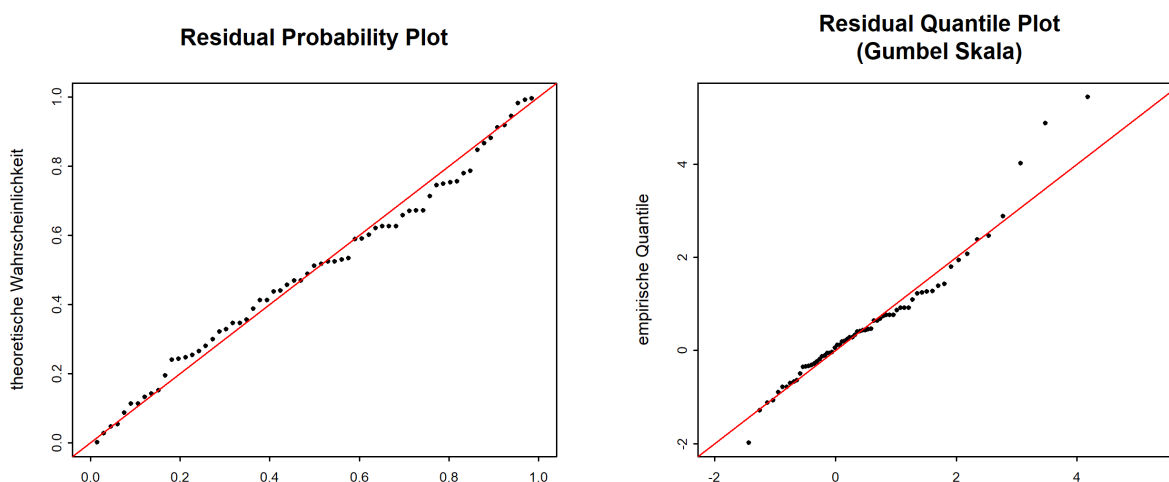


Abbildung 6: Diagnostikplots der Modellvariante „mujump1994“ des BLOCK-Ansatzes (1951-2015)

³Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „mujump“ wird aufgrund des Resultats der Bruchpunktanalyse das Jahr 1994 gewählt (siehe Kapitel 1).

⁴ $\hat{\mu} = a_1 + a_2 \cdot i$, $i = 0$ für $t < t_0$, $i = 1$ für $t \geq t_0$ (s. Tabelle 1)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 6):

Kriterien	Bewertung ⁵	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	mittel	kleinster Wert wird überschätzt
Anpassung mittlerer Bereich	gut	-
Anpassung oberer Bereich	mittel	Werte werden unterschätzt
Vergleich mit stationärem Modell	leicht verbessert	Verbesserung im mittleren Bereich sichtbar

Folgende Tabelle enthält die für das aktuellste Jahr (2015) bestimmten Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit der Modellvariante „mujump1994“ des BLOCK-Ansatzes über die gesamte Auswertungsperiode 1951-2015 (inkl. 95%-Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ _T	untere Konfidenzgrenze [m ³ /s]	Abfluss [m ³ /s]	obere Konfidenzgrenze [m ³ /s]
HQ ₂	356	387	418
HQ ₁₀	459	499	538
HQ ₃₀	507	559	611
HQ ₁₀₀	543	618	694
HQ ₃₀₀	565	668	772

In Abbildung 7 ist die Veränderung des mit dem Modell „mujump1994“ berechneten HQ₁₀₀ zwischen 1951 und 2015 dargestellt.

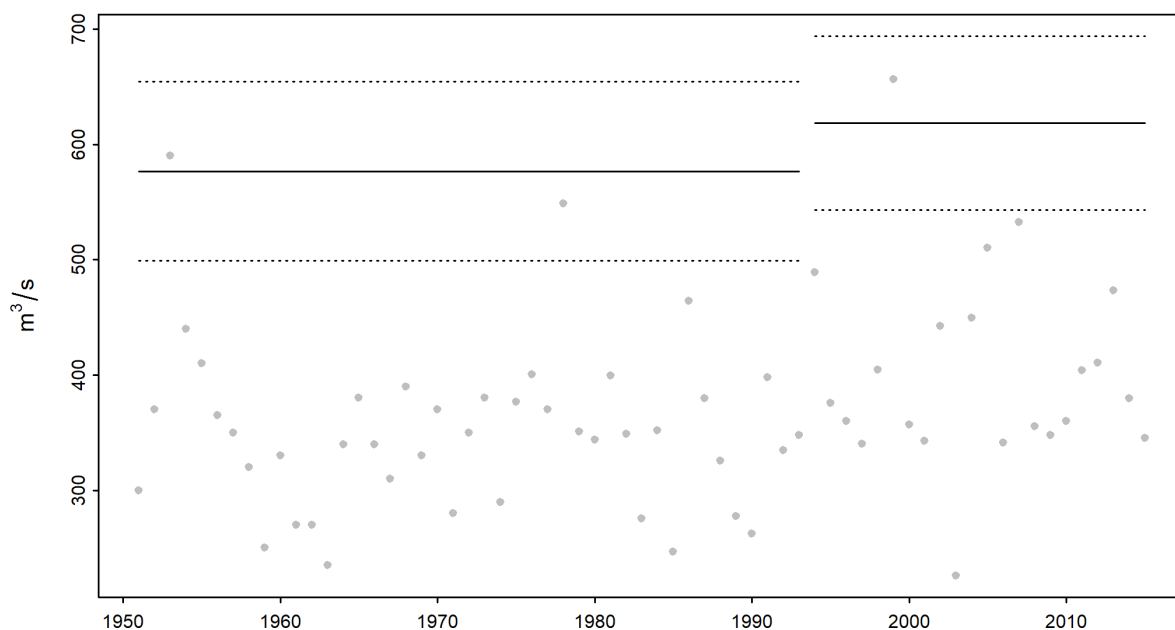


Abbildung 7: Veränderung der mit der Modellvariante „mujump1994“ berechneten HQ₁₀₀ (durchgezogene Linien) und des 95%-Konfidenzintervalls (Deltamethode; gestrichelte Linien) über die Jahre 1951-2015

2.1.2 Vergleichsperiode: 1974-2015

2.1.2.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
BLOCK	stat	1974-2015	Jahresmaxima	-

⁵Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Anzahl Werte n	Lageparameter $\hat{\mu}$	Skalenparameter $\hat{\sigma}$	Formparameter \hat{k}
42	345.5	69.81	-0.0686

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die Vergleichsperiode wird grafisch anhand der in Abbildung 8 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

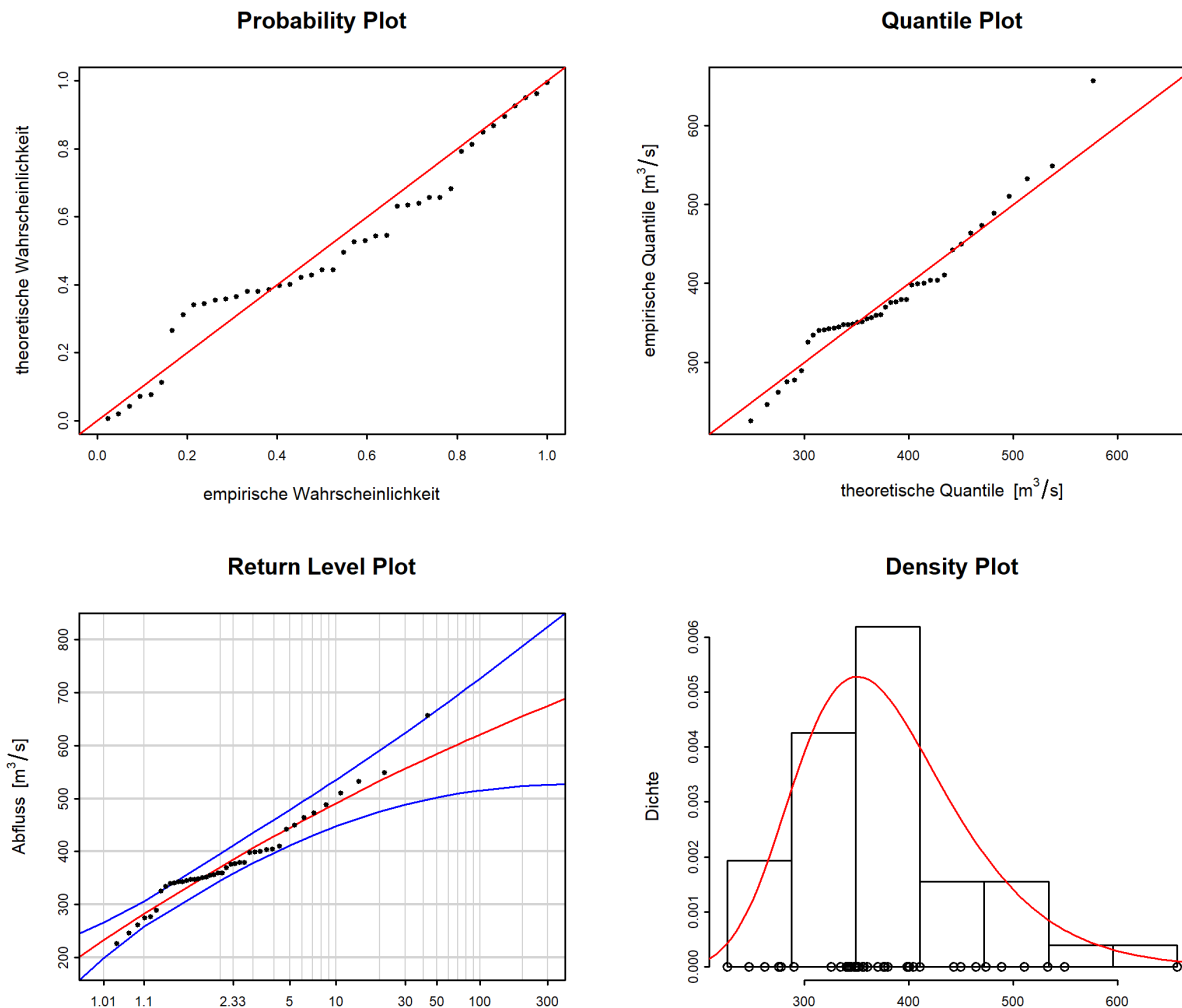


Abbildung 8: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des BLOCK-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 8):

Kriterien	Bewertung ⁶	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	mittel	Werte im unteren Bereich werden über-, im oberen Bereich unterschätzt
Anpassung mittlerer Bereich	mittel	Werte im unteren Bereich werden über-, im oberen Bereich unterschätzt
Anpassung oberer Bereich	mittel	Werte werden unterschätzt
Konfidenzintervall	mittel	-

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären BLOCK-Ansatz über die Vergleichsperiode 1974-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ_T	untere Konfidenzgrenze [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	346	371	396
HQ ₁₀	447	491	535
HQ ₃₀	489	556	624
HQ ₁₀₀	515	621	726
HQ ₃₀₀	526	675	824

2.2 Peaks Over Threshold Ansatz (POT)

Beim Peaks Over Threshold Ansatz (POT) gelten Werte als Extremereignisse, wenn sie einen hohen Schwellenwert u überschreiten.

Zur Berechnung des POT-Ansatzes werden die Tagesmaxima ab 1974 verwendet. Vor der Bearbeitung müssen diese von Clustern bereinigt werden. Für Limmat - Baden, Limmatpromenade wird der Zeitabstand L zwischen zwei unabhängigen Ereignissen auf den Mindestwert von 12 Tagen festgelegt.

Folgende Modellvarianten des POT-Ansatzes werden in diesem Bericht beschrieben:

Auswertungs- periode	Beschreibung	ausgewählte Modellvariante	Kapitel
1974 - 2015	Auswertungsperiode POT	stat	Kapitel 2.2.1.a

Für die Auswertungsperiode POT zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der stationären und den nicht stationären Modellvarianten.⁷

⁶Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

⁷Als Zeitpunkt t_0 für das Modell „sigjump“ wird das Jahr 1995 gewählt.

2.2.1 Auswertungsperiode POT: 1974-2015

Im vorliegenden Fall wurde als Schwellenwert u $284 \text{ m}^3/\text{s}$ gewählt (siehe Anhang A). Abbildung 9 zeigt die effektiv verwendeten Extremereignisse.

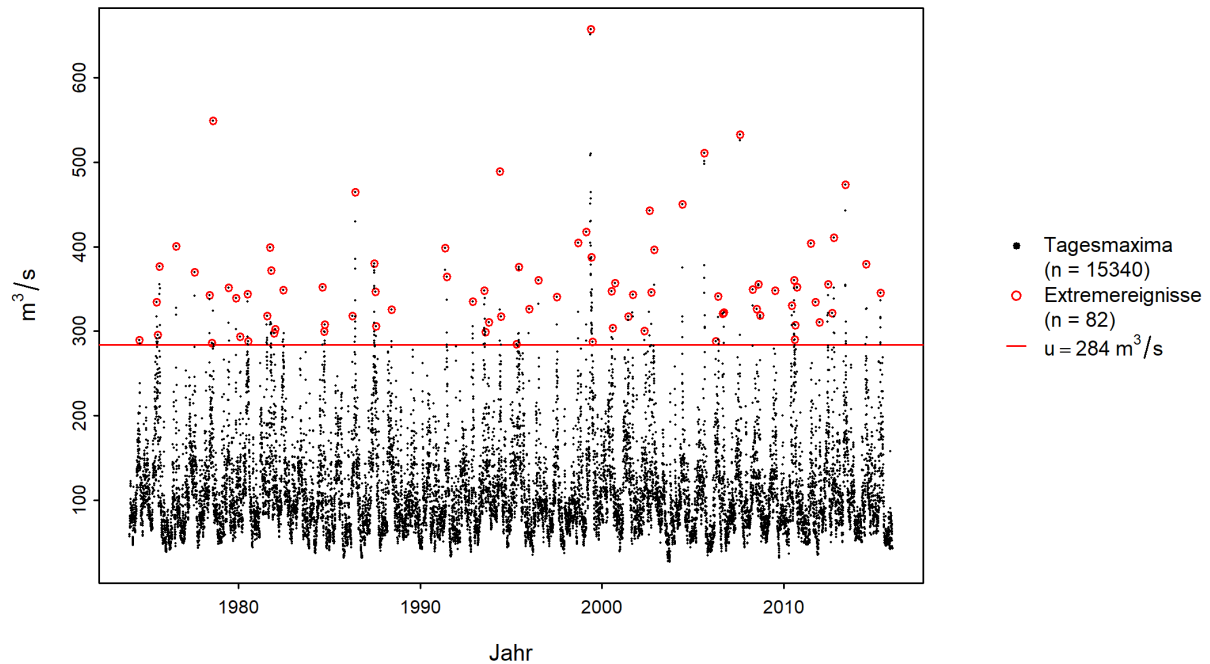


Abbildung 9: Auswahl der für den POT-Ansatz verwendeten Extremereignisse

2.2.1.a Stationäre Modellvariante

Verfahren	Modellvariante	Auswertungsperiode	Modelleingangsdaten	Bemerkung
POT	stat	1974-2015	Tagesmaxima	-

Verwendete Anzahl Werte und geschätzte Modellparameter:

Schwellenwert	Anzahl Werte	Ereignisrate	Skalenparameter	Formparameter
u	n	$\hat{\lambda}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\kappa}$
$284 \text{ m}^3/\text{s}$	82	1.95	79.8	-0.0916

Die Güte der Modellvariante „stat“ über die Auswertungsperiode POT wird grafisch anhand der in Abbildung 10 dargestellten Diagnostikplots beurteilt.

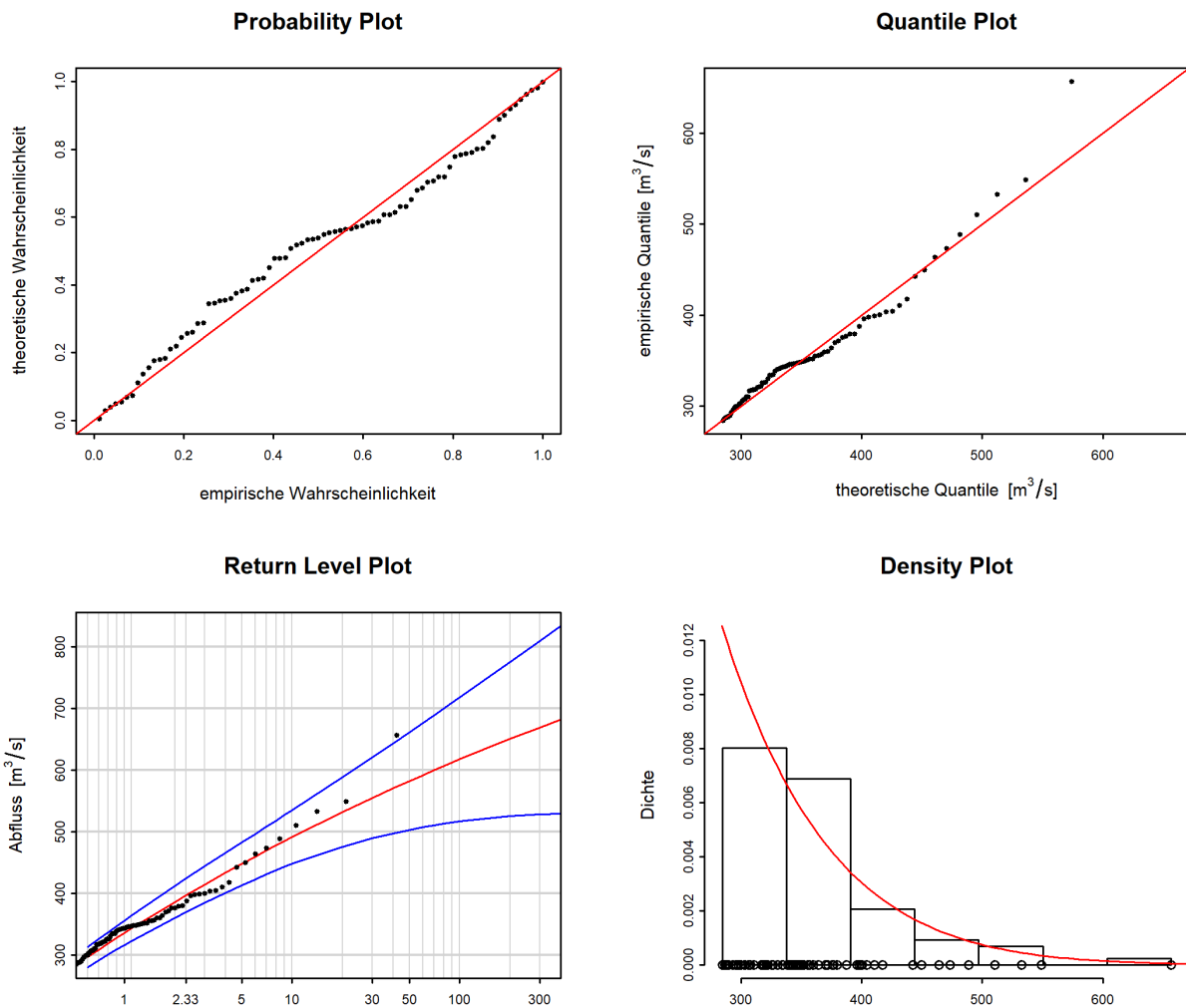


Abbildung 10: Diagnostikplots der Modellvariante „stat“ des POT-Ansatzes (1974-2015)

Bewertung Diagnostikplots (Abbildung 10):

Kriterien	Bewertung ⁸	Bemerkungen
Anpassung unterer Bereich	gut-mittel	Werte im unteren Bereich werden unter-, im oberen Bereich überschätzt
Anpassung mittlerer Bereich	gut-mittel	Werte im unteren Bereich werden über-, im oberen Bereich unterschätzt
Anpassung oberer Bereich	schlecht	grösster Wert wird stark unterschätzt
Konfidenzintervall	mittel	-

⁸Siehe [Leitfaden](#) Kapitel 2.2.3

Folgende Tabelle enthält die Abflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden, berechnet mit dem stationären POT-Ansatz über die Auswertungsperiode POT 1974-2015 (inkl. 95% - Konfidenzintervall berechnet über die Deltamethode):

HQ_T	untere Konfidenzgrenze [m³/s]	Abfluss [m³/s]	obere Konfidenzgrenze [m³/s]
HQ ₂	360	386	412
HQ ₁₀	448	492	535
HQ ₃₀	489	555	621
HQ ₁₀₀	517	618	719
HQ ₃₀₀	528	669	810

3 Vergleich der verschiedenen Resultate

Abbildung 11 zeigt die HQ_T der stationären sowie jener nicht stationären Modellvarianten, welche bei beiden parametrischen Verfahren jeweils am besten an die Daten angepasst waren. Sowohl die Werte wie auch die Grösse der Konfidenzintervalle, welche ein Mass für die Unsicherheit sind, variieren nur leicht. Generell werden diese Unterschiede grösser, je grösser die Wiederkehrperiode T und je kleiner die zugrunde liegende Datenmenge ist.

3.1 Beurteilung der unterschiedlichen Auswertungsperioden

Nur mit dem BLOCK-Ansatz, der auf der Untersuchung von Monatsmaxima basiert, ist eine Analyse der Auswertungsperiode 1951 - 2015 möglich. Für die Darstellung des Einflusses der Messperiode wurden die Resultate des BLOCK-Ansatzes für die verschiedenen Auswertungsperioden verglichen:

Perioden	HQ_T	Konfidenzintervall
Vergleichsperiode / Gesamte Auswertungsperiode	leicht höhere Werte	minim grösser

Nach 1974 wurden im Mittel etwas höhere Jahreshochwasser beobachtet. Dies führt zu leicht grösseren HQ_T in der Vergleichsperiode. Aufgrund der geringeren Datenmenge ist das Konfidenzintervall bei der Vergleichsperiode minim grösser als in der gesamten Auswertungsperiode.

3.2 Allgemeiner Vergleich der verschiedenen Modellansätze

In Abbildung 11 und der zugehörigen Tabelle sind die Resultate der verschiedenen Modellansätze zusammengefasst und zeigen folgende Sachverhalte auf:

Differenzen der Resultate der berechneten HQ_T der beiden Ansätze:

Die HQ_2 des POT-Ansatzes liegen etwas höher als jene des BLOCK-Ansatzes der Vergleichsperiode, die übrigen HQ_T sind praktisch gleich gross. Im Vergleich mit dem BLOCK-Ansatz der gesamten Auswertungsperiode sind die HQ_T , mit Ausnahme der HQ_{300} , beim POT-Ansatz etwas grösser.

Differenzen der berechneten Konfidenzintervalle der beiden Ansätze:

Allgemein nehmen die Unsicherheiten und somit die Konfidenzintervalle zu, je grösser die Wiederkehrperiode T ist. Die Konfidenzintervalle der verschiedenen Ansätze unterscheiden sich nur geringfügig.

Vergleich von stationären und nicht stationären Varianten:

Beim BLOCK-Ansatz kann mit einer nicht stationären Variante die Modellgüte etwas verbessert werden. Die berechneten Wiederkehrwerte für das Jahr 2015 sind in der Folge höher als mit der stationären Modellvariante. Eine Aussage über die zukünftige Entwicklung ist nicht möglich, da den Veränderungen keine eindeutigen Ursachen zugewiesen werden können.

Für die Beantwortung konkreter Fragestellungen bilden die Resultate dieser statistischen Auswertungen nur eine von verschiedenen Grundlagen. Kenntnisse über die hydrologischen Prozesse im Einzugsgebiet, Überlegungen zu Worst-Case-Szenarien für Niederschlag und Abfluss etc. sind unerlässlich, um das Hochwasserrisiko abzuschätzen. Die Abteilung Hydrologie des BAFUs befürwortet eine „hydrologisch-argumentative Vorgehensweise“ wie sie Merz und Blöschl (2008 zitiert in DWA 2015:52) vorschlagen.

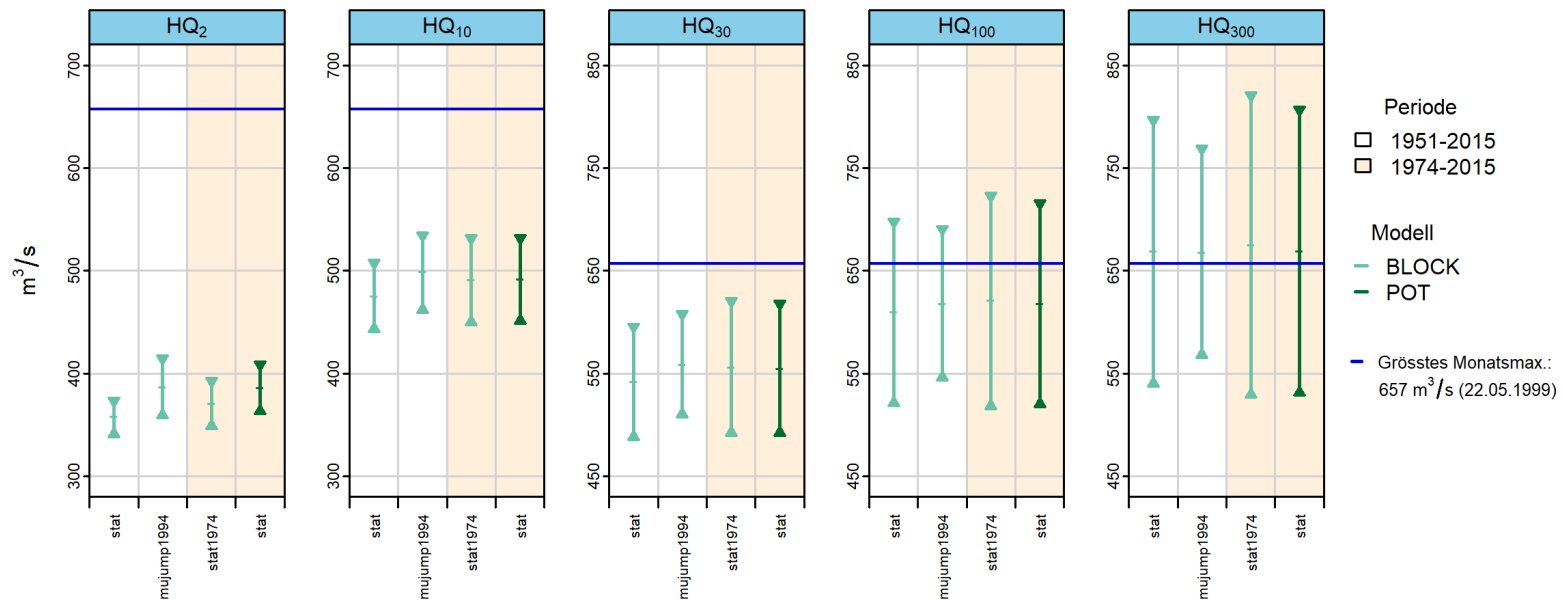


Abbildung 11: HQ_T [m^3/s] inkl. 95%-Konfidenzintervalle, berechnet mit den stationären sowie den jeweils bestangepassten Modellvarianten des BLOCK- und POT-Ansatzes für das Jahr 2015

Auswertungsperiode	Verfahren	Anpassung			Bemerkung
1951 - 2015	BLOCK stat	mittel	mittel	mittel	Werte werden unterschätzt
	BLOCK mujump1994	mittel	gut	mittel	Werte werden unterschätzt Verbesserung im mittleren Bereich sichtbar
1974 - 2015	BLOCK stat	mittel	mittel	mittel	Werte werden unterschätzt
1974 - 2015	POT stat	gut- mittel	gut- mittel	schlecht	grösster Wert wird stark unterschätzt

4 Literatur

BAFU (2015): Leitfaden zu den Stationsberichten der Hochwasserstatistik. BAFU, Bern.

Baumgartner, E., Boldi, M.-O., Kan, C., Schick, S. (2013): Hochwasserstatistik am BAFU - Diskussion eines neuen Methodensets. Wasser Energie Luft, Heft 2/2013. Baden.

BWG (Hrsg.) (2003a): Wörterbuch Hochwasserschutz. Haupt Verlag, Bern.

BWG (Hrsg.) (2003b): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Praxishilfe. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4, Bern.

Coles, S. (2001): An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer. London.

DWA (Hrsg.) (2012): Merkblatt DWA-M 552. Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hef. Hennef.

Anhang

A Bestimmung des Schwellenwerts zur Abgrenzung von Extremwerten

Der Schwellenwert u zur Abgrenzung der Extremwerte des POT-Ansatzes für die Auswertungsperiode 1974 - 2015 (siehe Kapitel 2.2.1) wird anhand des „mean residual life plots“ auf $284 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt (siehe Abbildung 12).

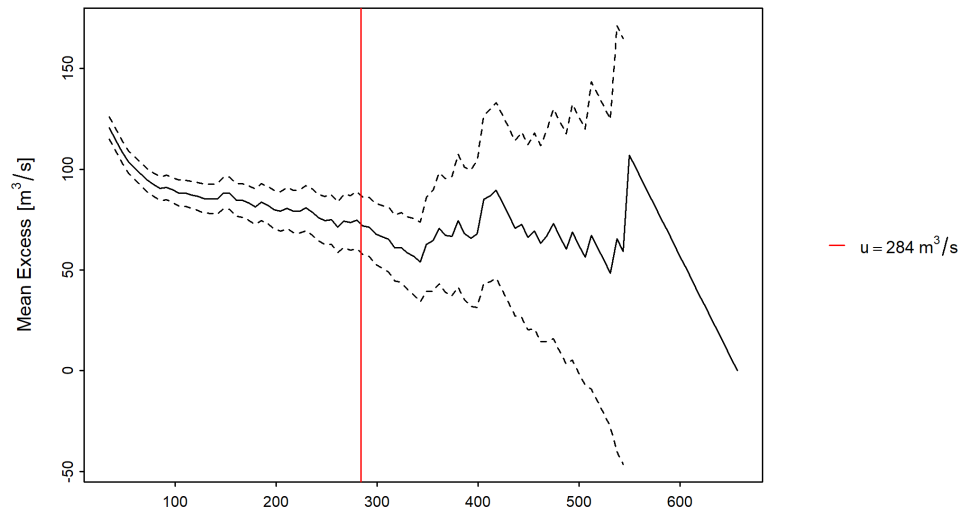


Abbildung 12: „mean residual life plot“ mit gewähltem Schwellenwert u (rote Linie) mean Excess (schwarze Linie), 95%-Konfidenzintervall (gestrichelte Linien)

B Glossar

Auswertungsperiode	Begrenzter Zeitraum, aus welchem eine Stichprobe der Hochwasserabflüsse stammt, die als repräsentativ für die Grundgesamtheit angenommen wird. Es wird davon ausgegangen, dass die Eigenschaften der Grundgesamtheit mit dieser Stichprobe annähernd abgebildet werden.
Devianzstatistik	Mit der Devianzstatistik kann die Anpassungsgüte eines Modells für einen gegebenen Datensatz untersucht werden.
Deltamethode	Das BAFU nutzt die Deltamethode zur Berechnung von Konfidenzintervallen in den Return Level Plots. Die Methode basiert auf einer Taylor-Entwicklung der Funktion der HQ_T und einer asymptotischen Normalverteilung (für technische Details siehe Coles 2001, S. 33).
Güte auch Anpassungsgüte oder Anpassung	Mass für die Abweichung eines statistischen Modells (theoretische Werte) und einer Menge von Beobachtungen bzw. Messungen (empirische Daten).
HQ_T	Der mittels Verteilungsfunktion für eine vorgegebene Jährlichkeit T bestimmte Hochwasserabfluss. HQ_T ist ein Schätzwert, der über oder unter dem wahren Wert der Hochwasserabflüsse mit statistisch gesehen T -jährlicher Wiederkehrperiode liegen kann. HQ_T wird auch als Wiederkehrwert bezeichnet. Die mit den parametrischen Verfahren berechneten HQ_T gelten für eine ganze Periode (stationärer Fall) bzw. das aktuelle Berichtsjahr (nicht-stationärer Fall).
Konfidenzintervall auch Vertrauensintervall	Konfidenzintervalle beschreiben die Unsicherheit des Outputs eines statistischen Modells. Sie berücksichtigen dabei den Fehler des Modells selbst, nicht aber weitere Unsicherheiten (z.B. Messfehler).
Maximum-Likelihood-Methode	Bezeichnung für ein Verfahren, das die Parameter einer Verteilungsfunktion aus den Informationen einer Stichprobe schätzt, indem der Maximum-Likelihood-Wert der Funktion maximiert wird.
Parametrische Verfahren	Ein wichtiges Ziel der Statistik ist es, mittels der Daten einer Stichprobe Aussagen über eine unbekannte Grundgesamtheit herzuleiten. Dafür eignen sich u. a. parametrische Verfahren, bei welchen angenommen wird, dass die Grundgesamtheit eine vorgegebene Wahrscheinlichkeitsverteilung besitzt, welche durch einen oder mehrere Parameter eindeutig bestimmt ist. Die beiden betrachteten Verfahren stützen sich auf die Allgemeine Extremwertverteilung (BLOCK), bzw. auf die Allgemeine Pareto-Verteilung (POT), weil diese Verteilungen die Natur der Daten (Blockmaxima, bzw. Daten ab einem gewissen Schwellwert) am besten reflektieren (siehe Coles 2001).
Block-Maximum-Ansatz (BLOCK)	Der Block Maximum Ansatz (BLOCK) definiert den höchsten Wert innerhalb eines Zeitintervalls (Block, im vorliegenden Fall ein Jahr) als Extremwert (siehe Leitfaden Kapitel 2.1.1 oder Coles 2001, Kapitel 3.1).
Peaks Over Threshold (POT)	Beim Peaks-Over-Threshold-Ansatz (POT) gelten Werte als Extremereignisse, wenn sie einen gewissen Schwellenwert u (in m^3/s bzw. l/s) überschreiten. Die verwendeten Daten werden vorgängig von Clustern befreit (siehe Leitfaden Kapitel 2.1.2 oder Coles 2001, Kapitel 4.2).
Probability Plot (P-P-Plot)	Exploratives, grafisches Werkzeug, in dem die Verteilungsfunktionen zweier statistischer Variablen gegeneinander aufgetragen werden, um ihre Verteilungen zu vergleichen. Hier: aufsummierte empirische Häufigkeiten vs. die theoretische, kumulierte Verteilungsfunktion. Je besser die Daten auf der Einheitsdiagonale liegen, desto mehr kann davon ausgegangen werden, dass die Modellannahmen korrekt sind. (Enthält die gleichen Informationen wie der Q-Q-Plot, dargestellt auf einer unterschiedlichen Skala.)

Quantile Plot (Q-Q-Plot)	Exploratives, grafisches Werkzeug, in dem die Quantile zweier statistischer Variablen gegeneinander aufgetragen werden, um ihre Verteilung zu vergleichen. Hier: beobachtete Abflusswerte vs. die mit Hilfe eines Modells berechneten Abflussdaten. Stimmen die empirischen und theoretischen Quantile annähernd überein, liegen die Werte in der Grafik nahe der Diagonalen. (Enthält die gleichen Informationen wie der P-P-Plot, dargestellt auf einer unterschiedlichen Skala.) Hinweis: Die theoretischen Quantile werden aus der Umkehrfunktion der Verteilungsfunktion berechnet. Für den direkten, optischen Vergleich mit dem entsprechenden Probability Plot sind die Achsen des Quantile Plots daher vertauscht.
Stationarität	Beobachtet man bei einer Messstation, dass sich das Abflussverhalten über die Beobachtungsperiode nicht wesentlich ändert, so empfiehlt es sich, ein stationäres Modell zu verwenden. Im stationären Fall wird angenommen, dass alle Parameter der Verteilungsfunktion über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant sind.
Nicht-Stationarität	Nicht-stationäre Modelle werden verwendet, um ein Abflussverhalten zu beschreiben, welches zeitlichen Änderungen unterliegt. Solche Änderungen können durch einen Wechsel der Messgeräte und Messmethoden, durch Stationsverlagerung, durch Gerinneveränderungen und durch anthropogene Einflüsse verursacht werden. Bei anthropogenen Einflüssen können die Veränderungen meist nicht einem einzelnen Eingriff zugeordnet werden, sondern sie bestehen aus Überlagerungen von verschiedenen, wasserwirtschaftlichen Massnahmen. Werden zeitliche Veränderungen der Daten vermutet, werden die Parameter der entsprechenden Verteilungsfunktion zeitlich abhängig modelliert. Dies führt dazu, dass sich auch die berechneten HQ_T über die Zeit verändern.
Verteilungsfunktion	Beschreibt die Grundgesamtheit der Hochwasserabflüsse aus einem Einzugsgebiet. Die Verteilungsfunktion gibt die Wahrscheinlichkeiten an, dass ein Hochwasserabfluss HQ in einem Jahr erreicht oder unterschritten wird.
Empirische Häufigkeitsverteilung	Kann aus der gewählten Stichprobe bestimmt werden.
Theoretische Wahrscheinlichkeitsverteilung	Schliesst von der gewählten Stichprobe auf die Grundgesamtheit. Es gibt viele verschiedene theoretische Verteilungsfunktionen, welche die Voraussetzungen für die Anwendung in der Hochwasserstatistik erfüllen, aber keine, die für alle Stichproben die besten Resultate gewährleistet.
Verteilungsparameter	
κ Formparameter (kappa)	Der Formparameter κ steht in direktem Zusammenhang mit der sogenannten "Heaviness of Tail" der Verteilung. Als Tail wird der Bereich mit den Ausreißern nach oben bezeichnet. Ist κ gross, so werden viele solche Ausreisser angenommen. Bei negativen Werten für κ hingegen wird angenommen, dass für die Extremwerte eine obere Schranke existiert.
λ Ereignisrate (lambda)	Beim POT-Ansatz entspricht die Ereignisrate λ der mittleren Anzahl Schwellenwertüberschreitungen während des Zeitintervalls von einem Jahr.
μ Lageparameter (mu)	Beschreibt die mittlere Lage der Stichprobenelemente (hier: Abflussmessungen) in Bezug auf die Messskala (hier: m^3/s bzw. l/s).